

## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> :

F16L 53/00, 59/14

A1

(11) Numéro de publication internationale:

WO 00/40886

(43) Date de publication internationale:

13 juillet 2000 (13.07.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/03322

(22) Date de dépôt international: 30 décembre 1999 (30.12.99)

(30) Données relatives à la priorité:

98/16791	31 décembre 1998 (31.12.98)	FR
99/00985	26 janvier 1999 (26.01.99)	FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): BOUYGUES OFFSHORE [FR/FR]; 3, rue Stephenson, Montigny-le-Bretonneux, F-78884 Saint Quentin en Yvelines (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BAYLOT, Michel [FR/FR]; 41, avenue Beau Pin, F-13008 Marseille (FR). HALLOT, Raymond [FR/FR]; 33, boulevard Lamartine, F-13600 La Ciotat (FR). PIONETTI, Régis [FR/FR]; 38, rue Jonquière, F-75017 Paris (FR). ROCHER, Xavier [FR/FR]; 41, rue du Général-Leclerc, F-78400 Chatou (FR).

(74) Mandataire: DOMANGE, Maxime; Cabinet Beau de Loménie, 232, avenue du Prado, F-13295 Marseille Cedex 08 (FR).

(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: HEAT INSULATING DEVICE AND METHOD FOR INSULATING AT LEAST A SUBMARINE PIPELINE AT GREAT DEPTH

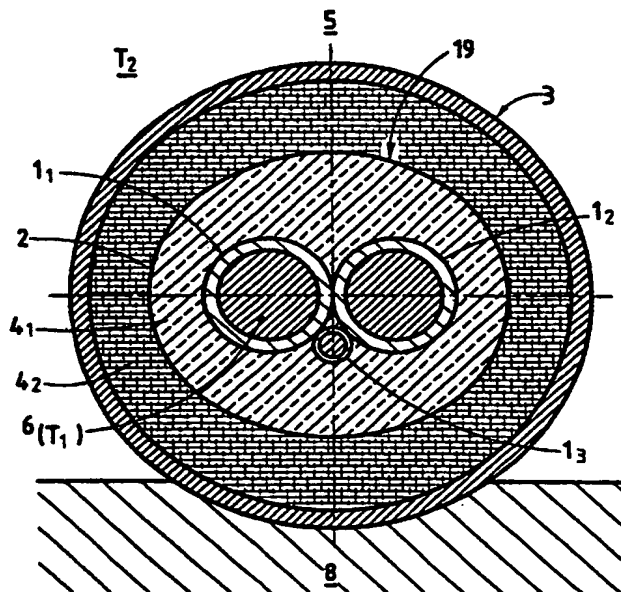
(54) Titre: DISPOSITIF ET PROCÉDE THERMIQUE D'ISOLATION D'AU MOINS UNE CONDUITE SOUS-MARINE A GRANDE PROFONDEUR

(57) Abstract

The invention concerns a heat insulating device for at least a submarine pipeline (1) designed to be laid on the seafloor at great depth, comprising an insulating coating enclosing it and protective sheath. The invention is characterised in that said insulating coating comprising a quasi-incompressible material (4) with liquid-solid phase change at a melting temperature  $T_0$  higher than that  $T_2$  of the medium around the pipeline (1) when it is in operation and lower than that  $T_1$  of the effluents circulating in the pipeline, and said material (4) being preferably impregnated in an absorbent matrix (2) enclosing the pipeline (1), preferably closest to its outer surface, which protective sheath (3) is resistant and deformable, and ensures confinement against and around said insulating coating.

(57) Abrégé

La présente invention a pour objet un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine (1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant un revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection (3), caractérisé en ce que ledit revêtement isolant comprenant un matériau quasi incompressible (4) à changement de phase liquide-solide à une température de fusion  $T_0$  supérieure à celle  $T_2$  du milieu environnant la conduite (1) en opération et inférieure à celle  $T_1$  des effluents circulant dans la conduite, et ledit matériau (4) étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante (2) entourant la conduite (1), de préférence au plus près de sa surface extérieure, laquelle enveloppe de protection (3) est résistante et déformable et assure un confinement contre et autour dudit revêtement isolant.



# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

## Dispositif et procédé thermique d'isolation d'au moins une conduite sous-marine à grande profondeur

La présente invention a pour objet des dispositifs et procédés  
5 d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine à grande  
profondeur.

Le secteur technique de l'invention est le domaine de la fabrication et  
du montage de système d'isolation à l'extérieur et autour des conduits dans  
lesquels circulent des effluents chauds dont on veut limiter les déperditions  
10 de chaleur.

Cette invention s'applique plus particulièrement aux développements  
de champs pétroliers en mer profonde, c'est à dire des installations  
pétrolières installées en pleine mer, dans lesquelles les équipements de  
surface sont en général situés sur des structures flottantes, les têtes de puits  
15 étant au fond de la mer. Les conduites concernées par la présente invention  
étant soit des liaisons entre têtes de puits, soit la partie reposant sur le fond  
des liaisons fond surface.

Les développements en mer profonde sont effectués par des  
profondeurs d'eau atteignant actuellement 1500 m. Les développements  
20 futurs sont envisagés par des profondeurs d'eau jusqu'à 3000m et au-delà.

L'application principale de l'invention est l'isolation thermique de  
conduites ou canalisations immergées, sous-marines ou subaquatiques, et  
plus particulièrement à grande profondeur au-delà de 300 mètres, et  
véhiculant des produits pétroliers chauds dont un trop grand  
25 refroidissement serait problématique aussi bien en régime de production  
normale qu'en cas d'arrêt de production.

En effet dans ce type d'applications, de nombreux problèmes se  
posent si la température des produits pétroliers diminue d'une valeur  
significative importante par rapport à leur température de production qui  
30 est en général au-delà de 60 à 80°C alors que la température de l'eau  
environnante surtout à grande profondeur peut être inférieure à 10°C. Si les  
produits pétroliers se refroidissent par exemple en dessous de 30° à 60°C  
pour une température initiale de 70 à 80°C on observe en général :

- une forte augmentation de la viscosité qui diminue alors le débit de la conduite,

- une précipitation de paraffine dissoute qui augmente alors la viscosité du produit et dont le dépôt peut diminuer le diamètre intérieur  
5 utile de la conduite,

- la floculation des alphaltènes induisant les mêmes problèmes,

- la formation soudaine, compacte et massive d'hydrates de gaz qui précipitent à forte pression et faible température, obstruant ainsi brusquement la conduite.

10 Paraffines et alphaltènes restent accrochés à la paroi et nécessitent alors un nettoyage par raclage de l'intérieur de la conduite ; par contre les hydrates sont encore plus difficile voire même impossible à enlever.

L'isolation thermique de telles conduites a donc pour fonction de retarder le refroidissement des effluents pétroliers véhiculés non seulement  
15 en régime de production établi pour que leur température soit par exemple d'au moins 40°C en arrivant en surface, pour une température de production à l'entrée de la conduite de 70°C à 80°C mais également en cas de diminution ou même d'arrêt de la production afin d'éviter que la température des effluents descendent par exemple en dessous de 30°C afin  
20 de limiter les problèmes ci-dessus ou tout au moins de permettre de les rendre réversibles.

Quand, de plus, de telles conduites doivent être posées de plus à des profondeurs supérieures à 300 mètres la pression ambiante d'au moins 30 bars interdit l'emploi des calorifuges performants que l'on rencontre à terre  
25 ou à faible immersion, car ils utilisent tous des gaz dont la conductivité thermique est en effet très faible et dont la convection est bloquée par un matériau solide poreux, cellulaire ou fibreux : la compressivité des gaz ne permet pas cependant à ces calorifuges classiques de supporter des pressions extérieures élevées.

30 On pourrait également citer la demande de brevet japonaise publiée le 25/10/91 n° JP2176299 qui décrit un dispositif d'isolation pour tube en métal ou en résine synthétique pour la fourniture d'eau chaude dans des bâtiments et dont on veut conserver la température à plus de 50°C après

une heure d'arrêt de fourniture en eau chaude, dans une température ambiante de 13°C par exemple : il est décrit pour cela une structure comprenant le tube de circulation de l'eau chaude, qui est de préférence déformable pour en faciliter la pose, avec une couche de matériau poreux imbibée à 200 % environ de paraffine et le recouvrant, et une autre couche en matière réfractaire couvrant la périphérie de l'ensemble ; l'utilisation de la paraffine permet d'avoir un coefficient d'isolation thermique intéressant bien que plus faible que les calorifuges cités ci-dessus et comportant du gaz, mais la capacité d'accumulation thermique de ce dispositif japonais est renforcée par la présence de la couche réfractaire extérieure permettant de réduire la perte thermique avec l'avantage de pouvoir couper l'ensemble de cette structure en n'importe quel endroit pour en faciliter le montage et sans perte du pouvoir d'accumulation thermique. Une telle solution n'est cependant pas utilisable dans de l'eau surtout à grande profondeur où il faut pouvoir résister à une pression hydrostatique extérieure importante, tout en assurant un confinement suffisant pour éviter tout risque de pollution et/ou de perte d'efficacité thermique. De plus, elle n'apporte pas les caractéristiques spécifiques décrites et revendiquées dans la présente invention.

Du reste, il a été plutôt développé d'autres types d'isolation thermique spécifiques et compatibles avec de fortes immersions et que l'on peut regrouper en trois familles, à savoir :

- les revêtements extérieurs en plastique massif tel qu'en polyuréthane, polyéthylène, polypropylène... mais dont la conductivité thermique est assez moyenne puisque de l'ordre de 0,2 à 0,3 Watt/mètre/degré Celsius, ce qui peut être suffisant en fonctionnement continu de production mais insuffisant pour préserver une température minimum pendant un temps donné en cas d'arrêt de production,

- les revêtements en matériaux syntactiques constitués de billes creuses contenant un gaz et résistantes à la pression extérieure et noyées dans des liants variés tels que béton, époxy, élastomère, polypropylène etc... : les plus performants sont les matériaux syntactiques à base de liant époxy et de microsphères de verre creuses de conductibilité assez faible et

intéressante puisque de l'ordre de 0,10 à 0,15 watt/mètre/degré Celsius mais le prix de ces revêtements est très élevé,

- les « pipe en pipe » dans lesquels un premier tube intérieur véhiculant les effluents est disposé concentriquement dans un deuxième tube résistant à la pression hydrostatique extérieure ; l'espace annulaire compris entre les deux tubes peut être, soit rempli de calorifuge à très faible conductivité thermique (0,02 Watt/mètre/degré Celsius) et qui pour ne pas s'écraser doit être laissé à pression atmosphérique, soit mis sous vide : une telle solution nécessite des cloisons disposées longitudinalement et parfaitement étanches, à intervalles réguliers, pour des questions de sécurité, et complique la construction et la mise en place de tels ensembles qui sont de plus très coûteux.

Une autre technique consiste à préfabriquer des coquilles en mousse syntactique et à les assembler autour de la conduite ou encore à réaliser un enrobage continu de mousse syntactique autour de ladite conduite. Nous rappelons à ce sujet que la mousse syntactique est constituée de microsphères creuses contenant un gaz et liées par une résine en général du type époxy.

Ces technologies d'isolation pour les grands fonds utilisent des produits de très hautes performances extrêmement coûteux et difficiles à mettre en œuvre sur une échelle importante.

Dans le cas de l'installation de conduites uniques ou de faisceaux de conduites (appelées "bundles"), on préfère en général préfabriquer les dites conduites à terre en longueurs unitaires de 500 à 1000 m que l'on tire ensuite depuis le large à l'aide d'un remorqueur. Dans le cas de conduites de plusieurs kilomètres, on tire la première longueur que l'on raboute à la suivante, le remorqueur maintenant l'ensemble en traction pendant la phase de raboutage, laquelle peut durer plusieurs heures. Lorsque l'intégralité de la conduite ou du faisceau de conduites a été mise à l'eau, l'ensemble est remorqué, frottant en général sur le fond, vers le site, où il est alors mis en place.

L'isolation de la ou des conduites ou du "bundle" est alors protégée par une enveloppe extérieure qui a une double fonction : - d'une part

d'éviter les endommagements qui pourraient se produire lors du remorquage, lequel peut dans certains cas se faire sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres ce qui nécessite d'utiliser des matériaux assez résistant tels qu'en acier, en composé thermoplastique ou  
5 thermodurcissable ou encore en matériau composite ; - d'autre part de créer un confinement autour du système d'isolation.

Ce confinement est nécessaire dans le cas de revêtements extérieurs isolant constitués de coquilles de mousse syntactique assemblées autour des conduites, car les interstices existant entre les diverses coquilles, ainsi que  
10 l'espace entre les coquilles et l'enveloppe externe sont remplis d'un produit quasiment incompressible, lequel est en général de l'eau douce ou de l'eau de mer passivée, ou encore tout autre produit compatible avec les composants internes.

En effet, par des fonds de 2000 m, la pression hydrostatique est de  
15 l'ordre de 200 bars, soit 20 Méga Pascals, ce qui implique que l'ensemble des conduites et de son système isolant doit être capable de résister non seulement à ces pressions sans dégradation lors des pressurisations et dépressurisations de la conduite dans laquelle circule le fluide chaud, mais encore aux cycles de température lesquels engendreront des variations de  
20 volume des différents composants ainsi que des fluides interstitiels, et donc de pression positives ou négatives pouvant conduire si l'enveloppe externe est étanche à sa destruction partielle ou totale soit par dépassement des contraintes admissibles, soit par implosion de cette enveloppe externe (variations de pression interne négatives).

25 Si ladite enveloppe externe n'est pas étanche, l'ensemble sera alors en équipression par rapport à la pression extérieure, mais il en résultera alors des échanges de fluides entre l'intérieur du "bundle" et le milieu extérieur. Dans le cas d'un remplissage des interstices du "bundle" à l'eau douce, à l'eau de mer passivée, ou encore tout autre produit compatible avec les  
30 composants internes comme indiqué ci-dessus, du fait que l'on cherche alors à éviter les échanges de fluide avec le milieu extérieur, on est amené à disposer des poches constituées d'une membrane souple de type élastomère permettant de contenir les variations de volume en maintenant les

variations de pression à un niveau raisonnable mais ces poches compliquent alors l'assemblage du dispositif isolant et ne permettent pas de répartir les contraintes d'une manière uniforme.

Le problème posé est donc de pouvoir réaliser une isolation d'au  
5 moins une conduite sous marine destinée à être posée sur le fond en particulier à grande profondeur, dont le revêtement isolant puisse résister non seulement à la pression hydrostatique mais également à tous les efforts liés à son poids propre, et induits lors de la pose au cours de laquelle la conduite subit des frottements et est exposée à des risques de poinçonnage  
10 ; ledit revêtement isolant doit permettre de maintenir par exemple un effluent chaud tel qu'un produit pétrolier produit à, par exemple 60°C au niveau du fond à une température au-dessus de, par exemple 40°C quand il arrive en surface après un parcours de plusieurs kilomètres dans l'eau, et de plus maintenir une température à plus de, par exemple 30°C même après  
15 plusieurs heures d'arrêt de production, et cela avec un coût de fabrication qui soit inférieur à celui des matériaux syntactiques actuels tout en offrant diverses possibilités de mise en oeuvre, et cela sans risque de pollution pour l'environnement.

Une solution au problème posé est un dispositif d'isolation d'au  
20 moins une conduite sous marine (qui peut être en effet seule ou assemblée avec d'autres conduites, constituant alors ce que l'on appelle des « bundles » ou des « faisceaux »), destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant un revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection ; selon l'invention ledit revêtement isolant  
25 comprend un matériau quasi incompressible à changement de phase liquide-solide à une température de fusion  $T_0$  supérieure à celle  $T_2$  du milieu environnant la conduite en opération et inférieure à celle  $T_1$  des effluents circulant dans la conduite, laquelle enveloppe de protection est résistante (tel qu'à l'abrasion, aux frottements, à la corrosion et aux impacts  
30 mécaniques) et déformable (notamment pour suivre les variations de volume du matériau à changement de phase sous l'effet de la pression hydrostatique et/ou lors des variations de températures), assure un



confinement autour dudit revêtement isolant, notamment un confinement autour et contre dudit revêtement isolant.

De préférence, ledit revêtement isolant comprend une matrice absorbante entourant la conduite, de préférence au plus près de la surface  
5 extérieure de ladite conduite, ladite matrice étant imprégnée dudit matériau quasi-incompressible.

Ledit revêtement isolant peut entourer directement la conduite, ou indirectement. Dans ce dernier cas ledit revêtement isolant peut entrouver une conduite elle-même déjà isolée, notamment par de la mousse  
10 syntactique.

L'enveloppe de protection, s'appuyant sur le matériau solidifié et rigide au moins à sa périphérie, est apte à supporter le poids de la conduite et les frottements lors de la pose de celle ci depuis la surface.

Plus particulièrement, l'enveloppe de protection est déformable pour  
15 suivre les variations de volume du revêtement isolant sous l'effet de la pression hydrostatique et lors des variations de température.

Cette enveloppe peut présenter au moins un évent perméable au gaz de manière à éviter les éventuelles accumulations de gaz tel que l'hydrogène ayant pu diffuser à travers la paroi de la conduite interne, lequel hydrogène  
20 peut être engendré par les effluents qui y circulent.

L'objectif de la présente invention est également atteint par un procédé d'isolation utilisant un revêtement isolant entourant au moins une conduite sous-marine et une enveloppe de protection, tel que :

- on entoure ladite conduite, de préférence directement, avec un  
25 revêtement isolant comprenant un matériau quasi incompressible et à changement de phase liquide-solide à une température de fusion  $T_0$  donnée, ledit matériau incompressible étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante, et on confine l'ensemble dans l'enveloppe de protection qui doit être résistante et déformable,
- 30 - on fait circuler dans ladite conduite des effluents chauds à une température  $T_1$  supérieure à la température de fusion  $T_0$  du matériau alors que la température  $T_2$  ambiante extérieure est inférieure à  $T_0$ , le matériau à changement de phase étant alors liquéfiée, de préférence dans

une partie de la matrice d'imprégnation depuis la conduite jusqu'à une limite d'équilibre d'échange thermique entre la conduite et l'enveloppe, au-delà de cette limite le matériau étant solide,

- quand on arrête la circulation des effluents dans la conduite on  
5 maintient la température de ces effluents est maintenue au-dessus d'une température  $T_3$  donnée pendant une durée prédéterminée grâce au transfert calorifique apporté par la chaleur latente de solidification du matériau dont la partie liquide se solidifie progressivement en se refroidissant.

Le résultat est un nouveau dispositif et procédé d'isolation d'au  
10 moins une conduite sous-marine destinée à être posée sur le fond en particulier à grandes profondeurs, évitant les inconvénients cités précédemment dans les dispositifs actuels et répondant au problème posé. En effet, l'enveloppe de protection extérieure n'a pas besoin d'être résistante à la pression hydrostatique puisqu'elle s'appuie sur un matériau  
15 quasi incompressible.

De tels matériaux sont choisis pour être également à changement de phase liquide/solide à une température de fusion  $T_0$  supérieure à celle  $T_2$  du milieu environnant la conduite en opération afin que sa partie extérieure soit toujours solide, et donc d'une part assez résistante pour absorber les  
20 efforts transmis par l'enveloppe de protection extérieure, d'autre part apportant une meilleure inertie thermique. Ladite température de fusion  $T_0$  doit être également choisie pour être inférieure à celle de l'effluent circulant dans la conduite, de telle façon que la partie de ce matériau entourant la conduite soit liquéfiée grâce à l'apport calorifique des effluents  
25 en régime de production normale. En revanche, en cas de ralentissement de la production ou même en cas d'arrêt, de celle-ci, ledit matériau à changement de phase restitue ses calories aux effluents contenus dans la conduite, grâce par exemple à une enthalpie de fusion supérieure à 50 kilojoule/kilogramme, ce qui retarde d'autant plus le refroidissement  
30 desdits effluents et permet d'atteindre les objectifs recherchés.

De plus, la partie solide extérieure dudit matériau à changement de phase limite les risques de pollution de ce matériau dans le milieu

environnant puisqu'en cas de déchirure de l'enveloppe de protection extérieure, la solidité de cette partie du matériau maintient son intégrité.

Ledit matériau quasi-incompressible est choisi pour sa faible conductivité thermique, notamment inférieure à 0,3 watt/mètre/degré  
5 Celsius.

Ledit matériau incompressible est choisi notamment parmi les matériaux constitués d'au moins 90 % de composés chimiques choisis parmi les alcanes, notamment comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 10 atomes de carbone, ou encore les sels hydratés ou pas, les glycols, les  
10 bitumes, les goudrons, les cires, et autres corps gras solides à température ambiante, tels que le suif, la margarine ou les alcools gras et acides gras.

De préférence, le matériau incompressible est constitué de paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 14 atomes de carbone.

Les matériaux à changement de phase décrits précédemment  
15 présentent généralement une variation volumique importante lors de leur changement d'état, pouvant atteindre 20 % dans le cas des paraffines. L'enveloppe extérieure de protection doit pouvoir s'accommoder sans dommage de ces variations de volume.

Un autre objectif de la présente invention est donc aussi de réaliser  
20 une enveloppe de protection du système d'isolation permettant, d'une part d'assurer l'intégrité d'un faisceau de conduites et de son système d'isolation lors de son remorquage et de son installation sur site et, d'autre part de s'affranchir des contraintes engendrées par la dilatation différentielle des divers composants lors des variations de température, associées aux  
25 contraintes dues à la pression du fond de la mer.

Cet objectif est atteint par un dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous marine comportant un revêtement isolant entourant celle ci et une enveloppe de protection tel que suivant la présente invention, le périmètre extérieur de la section transversale de ladite  
30 enveloppe de protection est une courbe fermée dont le rapport du carré de la longueur sur la surface qu'elle délimite est au moins égal à 13 ; l'enveloppe de protection, qui entoure et assure le confinement du revêtement isolant, épouse la forme extérieure de celui ci, et sa section

transversale qui n'est donc pas circulaire - comme il est d'usage de le faire jusqu'à ce jour - est un ovale, un polygone tel qu'un rectangle, ou encore une combinaison des deux.

Dans le cas où le dispositif comporte au moins deux conduites  
5 disposées suivant un même plan, la section transversale de ladite enveloppe est de forme allongée dans la même direction que ce plan.

Lors des variations de volume interne, l'enveloppe aura tendance à se déformer vers une forme circulaire, laquelle constitue mathématiquement la forme présentant, à périmètre constant, la section la plus importante.

10 Dans le cas d'une enveloppe étanche à profil circulaire, une augmentation de volume engendre des contraintes dans la paroi, lesquelles sont liées à l'augmentation de pression résultante de cette augmentation de volume.

Par contre dans le cas d'un profil rectangulaire une augmentation de  
15 volume engendrera principalement des flexions des parois planes, la migration des fluides interstitiels se regroupant dans ces zones de déformation. Les efforts engendrés dans la paroi seront principalement des efforts de flexion dans l'épaisseur de la paroi, les fléchissements les plus importants se produisant sur les grands côtés, dans la mesure où  
20 l'enveloppe présente une épaisseur constante sur son pourtour et sur toute sa longueur.

A titre d'exemple, un cercle de diamètre 1 m possède une section approchée de 0,785 m<sup>2</sup> pour un périmètre approché de 3,1416 m : un carré de même périmètre présentant une section approchée de 0,617 m<sup>2</sup>, cette  
25 forme offre une capacité d'expansion de 21,5% lorsque l'on passe, à périmètre constant, d'une forme carrée à une forme circulaire ; cette forme carrée correspond à une valeur du rapport du carré de la longueur de son périmètre extérieur de la courbe fermée de la section transversale de l'enveloppe de protection sur la surface que délimite ledit périmètre, égal à  
30 16.

De même, une forme rectangulaire aplatie dont le rapport ci dessus est alors supérieur à 16 présentera, à périmètre constant, une plus grande capacité théorique d'expansion ; ainsi, un rectangle de 1,2 m de grand côté

et de 0,3708 m de petit côté qui a le même périmètre de 3,1416 m, mais une section de seulement 0,44496 m<sup>2</sup>, présente une capacité théorique d'expansion de 43,3%.

Il apparaît ainsi que plus on aplatit la forme de la section transversal  
5 du revêtement isolant, meilleure est la capacité de son enveloppe à absorber les expansions dues à la dilatation des composants sous l'effet de la température.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que l'on ne dispose pas de l'intégralité de la capacité théorique d'expansion car la déformation par  
10 flexion de la paroi tendra vers la forme d'un cercle très imparfait. Ainsi la capacité effective d'expansion n'est qu'une portion de ladite capacité théorique d'expansion et peut alors correspondre à 30% ou 50% selon la qualité du matériau constituant l'enveloppe, laquelle enveloppe peut être en acier, en composé thermoplastique ou thermodurcissable ou encore en  
15 matériau composite.

Ainsi, pour d'importantes variations de volumes, on utilisera avantageusement des profils dont le périmètre de la section transversal de ladite enveloppe extérieure comporte des contre courbures concaves dont la concavité est tournée vers l'extérieur de ladite enveloppe.

20 Dans le cas de profil de forme ovale, une variation de pression interne impliquera une combinaison de contraintes de flexion et de contraintes de traction pure, car la courbure variable de l'ovale se comporte alors comme une voûte architecturale avec cependant la différence que dans le cas de notre enveloppe, les contraintes sont des contraintes de traction et  
25 non des contraintes de compression. Ainsi, une forme ovale ou approchée d'une ovale sera envisageable pour de faibles capacités d'expansion et il conviendra de considérer alors des ovales avec un rapport de longueur du grand axe  $\rho_{\max}$  sur celle du petit axe  $\rho_{\min}$  aussi élevé que possible par exemple au moins 2/1 ou 3/1.

30 On sélectionnera alors la forme de l'enveloppe en fonction de l'expansion globale recherchée du volume du revêtement isolant, sous l'effet de variations de température. Ainsi, pour un système d'isolation utilisant principalement des matériaux sujets à expansion, une forme

rectangulaire, une forme polygonale ou encore une forme ovale permettent une expansion par flexion de la paroi tout en induisant un minimum de contraintes de traction dans l'enveloppe extérieure.

Pour un fluide présentant une grande expansion sous l'effet de variations de température, tel que du gazole, des produits de la famille des alcanes (paraffines), ou encore des matériaux à changement de phase, on aplatira avantageusement le rectangle pour créer la réserve d'expansion nécessaire. On peut encore augmenter cette réserve d'expansion en créant les contre-courbures précédemment mentionnées.

On pourrait citer d'autres avantages à la présente invention mais ceux cités ci-dessus en montrent déjà suffisamment pour en prouver la nouveauté et l'intérêt. La description des figures ci-après concerne des exemples de réalisation de l'invention mais n'a aucun caractère limitatif : d'autres réalisations sont possibles dans le cadre de la portée et de l'étendue de cette invention, en particulier en choisissant un matériau à changement de phase liquide/solide spécifique aux applications souhaités en terme de profondeur d'immersion, de température du milieu environnant, de température des effluents...

Le figure 1 est une vue en coupe d'un dispositif d'isolation suivant la présente invention représenté ici avec trois conduites rassemblées en faisceau ou « bundle » mais qui peut être adapté à une seule conduite ou à un nombre supérieur de conduites réunies.

Les figures 2A et 2B représentent des détails des phases du procédé de montage et de fabrication du dispositif d'isolation selon l'invention tel que représenté sur la figure 3E.

Les figures 3A à 3E et 4A à 4C représentent différentes phases d'un exemple de procédé d'isolation suivant la présente invention.

Les figures 5A et 5B représentent des coupes d'un dispositif selon l'invention spécifique au raccordement entre deux tronçons de conduite.

La figure 6 est une vue en coupe d'un faisceau de deux conduites ou "bundle" dont le revêtement isolant et l'enveloppe de protection sont de forme circulaire et constituent l'art antérieur connu.

La figure 7 est une vue en coupe d'une enveloppe de faisceau de conduites selon l'invention, de section carrée,

La figure 8 est une vue en coupe d'une enveloppe de section polygonale.

5 La figure 9 est une vue en coupe d'une enveloppe de section rectangulaire aplatie à la température ambiante et en position d'expansion maximale due à la température.

La figure 10 est une vue en coupe d'une enveloppe de section ovale de rapport 3/1.

10 la figure 11 est une vue en coupe d'une enveloppe de section ovale de rapport 2/1.

La figure 12 est une vue en coupe d'une enveloppe de section rectangulaire aplatie avec les extrémités arrondies.

La figure 13 est une vue en coupe d'une enveloppe de section courbe  
15 présentant des points d'inflexion, donc des contre courbures.

La figure 14 est une vue en coupe d'un faisceau constitué d'une multiplicité de conduites, de câbles de puissance et de contrôle, disposés à plat suivant la présente invention, isolés par un revêtement isolant et protégés par une enveloppe de protection de section sensiblement  
20 rectangulaire et aplatie, et comportant une plaque d'usure inférieure.

La figure 15 est une vue en coupe d'un "bundle" selon l'invention de section sensiblement rectangulaire et aplatie, fabriqué à partir de plaques métalliques et présentant un couvercle soudé.

La figure 16 est une vue en coupe d'une variante du "bundle"  
25 précédent dans laquelle le couvercle peut être soit soudé, soit assemblé mécaniquement.

La figure 17 est une vue en coupe d'une variante du bundle précédent dans laquelle le couvercle est remplacé par un produit souple et résistant coulé en place.

30 Exemple 1 : Revêtement isolant à base de paraffine.

Comme indiqué précédemment, le dispositif d'isolation d'au moins une conduite sous-marine 1 destinée à être posée sur le fond 8 de la mer à grande profondeur, comporte d'une manière connue un revêtement isolant

entourant celle ci et une enveloppe de protection 3. Suivant la présente invention tel que représenté sur les figures jointes, ledit revêtement isolant est composé d'un matériau quasi incompressible 4 à changement de phase liquide-solide à une température de fusion  $T_0$  supérieur à celle  $T_2$  du milieu  
5 environnant la conduite en opération et inférieure à celle  $T_1$  des effluents 6 circulant dans la conduite 1 ; lequel matériau 4 a une conductivité thermique assez faible de préférence inférieure à 0,3 watt/mètre/deg Celsius en phase solide et une enthalpie de fusion de préférence supérieure à 50 kilojoules/kilogramme : il est par exemple constitué d'au moins 90 %  
10 de composés chimiques de la famille des alcanes qui sont des hydrocarbures saturés de formule générale  $C_n H_{2n+2}$  tels que par exemple des paraffines ou des cires ; lesdits composés chimiques pouvant être aussi des sels hydratés ou non, des glycols, des bitumes, des goudrons, des alcools gras ; la température de fusion dudit matériau doit donc être comprise entre les  
15 températures  $T_1$  des effluents 6 chauds circulant dans la conduite 1 et  $T_2$  du milieu environnant 5 la conduite en opération, soit en fait en général une température de fusion comprise entre 20 et 80°C. On utilise par exemple comme paraffine du tetracosane de formule  $C_{24} H_{50}$  présentant une température  $T_0$  de 50,9°C.

20 Le revêtement isolant selon l'invention est constitué d'une matrice 2 absorbante entourant la conduite 1 au plus près de sa surface extérieure et imprégnée dudit matériau incompressible 4 ; ladite enveloppe de protection 3 est résistante et déformable et assure un confinement contre et autour dudit revêtement isolant : cette enveloppe de protection 3, s'appuyant sur  
25 le matériau 4 solidifié et rigide au moins en périphérie, est apte à supporter le poids de la conduite 1 et les frottements lors de la pose de celle-ci depuis la surface.

Ladite enveloppe de protection 3 est déformable pour compenser au moins les variations de volume du revêtement isolant qu'elle confine, d'une  
30 part sous l'effet de la pression hydrostatique et d'autre part lors des variations de volume du matériau 4 lors de son changement de phase, afin de préserver son intégrité et donc sa capacité de confinement ; cette enveloppe de protection 3 peut être pour cela en matériau thermo plastique



tel qu'en polyéthylène ou en matériau thermdurcissable, ou même métallique de section non cylindrique. Sous l'action de la pression extérieure hydrostatique, cette enveloppe de protection 3, formant un tube extérieur se déforme et vient prendre appui sur la partie solidifiée du matériau 4 qui est de nature quasiment incompressible : ainsi la déformation de cette enveloppe de protection 3 reste faible et les contraintes qui en résultent seront-elles aussi faibles ; en conséquence l'épaisseur de ladite enveloppe peut également être faible.

Ladite matrice 2 peut être constituée d'un matériau léger cellulaire ou fibreux tel que de la mousse à cellules ouvertes, notamment de la mousse de polyuréthane, de la fibre de verre ou de roche, du tissu, du feutre, du papier etc... : en fait la nature du matériau constituant ladite matrice doit être suffisamment absorbante pour être compatible avec l'imprégnation par ledit matériau 4 à changement de phase afin de s'opposer à la convection naturelle de la partie liquéfiée 4<sub>1</sub> dudit matériau ; cette matrice peut être éventuellement hétérogène pour être compatible avec le gradient de température de l'imprégnation et elle peut n'occuper qu'une partie du volume de l'espace annulaire délimité par ladite enveloppe de protection 3 et ladite conduite 1 dans la mesure où la partie extérieure 4<sub>2</sub> dudit matériau à changement de phase reste toujours solide et n'est donc pas sujet à des mouvements de convection thermique : en ce cas la limite 19 entre les deux parties liquide 4<sub>1</sub> et solide 4<sub>2</sub> est toujours comprise dans la matrice 2.

On utilise par exemple une matrice absorbante constituée par de la moquette aiguilletée.

Suivant l'exemple d'un procédé de réalisation d'un dispositif selon l'invention tel que représenté sur les figures 3A à 4C :

- on fixe, tel que par soudage 16<sub>1</sub> d'une manière continue, un obturateur 7<sub>2</sub> à une extrémité de la paroi extérieure de conduite 1 à isoler (figure 3),
- on monte sur cette partie de conduite 1 des éléments de la matrice 2 absorbante qui entoure celle-ci complètement et uniformément et on enfile autour de ces éléments de matrice 2 l'enveloppe extérieure de protection 3 que l'on solidarise, tel que par soudage d'une manière

continue, à son extrémité à l'obturateur 7<sub>2</sub> (figures 3B et 3C) ; suivant un mode préférentiel de réalisation on intercale également entre des éléments de matrice 2 absorbante, des entretoises 9 régulièrement espacées le long de la conduite 1 sur laquelle elles s'appuient et aptes à centrer et supporter  
5 l'enveloppe de protection 3,

- on positionne à l'autre extrémité de l'enveloppe de protection 3 un deuxième obturateur 7<sub>1</sub> que l'on fixe sur cette enveloppe et sur la conduite 1 tel que pas soudage 16<sub>2</sub> d'une manière continue (figure 3D),

- dans le cas où on a intercalé des entretoises 9 entre les éléments de  
10 matrice 2, lorsque l'ensemble des éléments de l'enveloppe de protection 3 ont été ainsi mis en place et fixés pour constituer ainsi l'enveloppe de confinement, on met en place des sangles 17 de maintien à l'aplomb desdites entretoises 9 (figure 4B),

- on remplit complètement, par exemple par une extrémité grâce à  
15 des orifices 14 réalisés dans un des obturateurs 7, l'espace annulaire compris entre la conduite 1 et l'enveloppe 3 avec ledit matériau 4 à changement de phase liquéfié et surchauffé au-dessus de sa température de fusion T<sub>0</sub>, et ce jusqu'à ce que les éléments de matrice 2 en soient complètement imprégnés. Pour cela, on peut incliner ladite conduite afin de  
20 remplir ledit matériau 4 à changement de phase par la partie inférieure de l'espace annulaire tel que représenté sur la figure 4A, ce qui permet de chasser l'air par des événements 15 disposés dans l'obturateur opposé 7 à celui permettant le remplissage (il peut être effectué également le vide avant ledit remplissage) ;

- dans le cas où des entretoises 9 et des sangles 17 de maintien ont  
25 été préalablement disposées, on remplit l'espace annulaire avec ledit matériau liquéfié 4 sous pression pour déformer l'enveloppe extérieure 3 entre lesdites sangles 17; la déformée recherchée correspondant à l'augmentation de volume, ou survolume, engendrée par la dilatation  
30 thermique du matériau 4 liquide à la température de remplissage, comme représenté sur la figure 4B, et par rapport à son volume à l'état solide

- on refroidit l'ensemble, et après refroidissement et solidification du matériau 4, celui ci reprend sensiblement son volume initial : si le

remplissage a été effectué sous pression comme indiqué précédemment l'enveloppe extérieure sera alors sensiblement droite comme indiqué sur la figure 4C, ce qui permettra éventuellement d'enlever lesdites sangles 17 ;

Les corps des obturateurs 7 sont fermés, et ceux des entretoises 9  
5 sont de préférence ajourées pour permettre le remplissage du matériau à changement de phase ; ces obturateurs et entretoises sont réalisés en matière préférentiellement peu conductrice de la chaleur, non métallique. Comme indiqué sur les figures 2A et 2B, lesdits obturateurs peuvent également comporter une bague intérieure 10 de la même matière de celle  
10 de la conduite 1 et une bague extérieure 11 de la même matière que celle du tube extérieur 3 : ces deux bagues éventuelles sont fixées sur le corps de l'obturateur de manière rigide et étanche ; celle fixée sur la conduite 1 peut comporter une collerette 10 d'aide à la manutention.

Les entretoises 9 sont nécessaires dans le cas où la tenue mécanique  
15 de la partie rigide 2<sub>2</sub> du matériau à changement de phase ne serait pas suffisante pour supporter la ou les conduites 1 ; de plus de telles entretoises 9 assurent le centrage du ou des faisceaux de conduite dans le tube enveloppe extérieure 3.

Dans le cas d'une conduite assemblée sur site par soudage ou vissage  
20 de tronçons élémentaires préalablement isolés les zones de jonction sont alors dépourvues d'isolation et doivent être traitées sur site : on peut ainsi compléter cette isolation dans cette zone en disposant plusieurs blocs d'imprégnation préfabriqués 12 s'ajustant les uns aux autres, autour de la jonction entre tronçons le tout étant immobilisé par surmoulage par une  
25 résine thermoplastique ou thermodurcissable 13 tel que représenté sur les figures 5A et 5B.

Exemple 2 : faisceau plat d'au moins deux conduites côte à côte.

La figure 6 est une vue en coupe d'un dispositif d'isolation thermique  
de deux conduites sous-marines 1 comportant un revêtement isolant 2  
30 entourant celles ci et une enveloppe de protection 3 confinant l'ensemble. Ledit revêtement isolant 2 est composé comme à l'exemple 1 et le périmètre 24 de la section transversal de l'ensemble est un cercle ; un fluide quasiment incompressible assure le remplissage intégral de l'enveloppe 3 en

comblant tous les interstices qui pourraient exister entre lesdites demi coquilles et ladite enveloppe 3 ; celle ci pour ne pas subir des contraintes importantes essentiellement dues aux variations de température, comme expliqué précédemment, comporte alors un canal continu 23 sur toute sa longueur et contre sa paroi intérieure pour faciliter les mouvements du fluide quasi incompressible et maintenir l'ensemble en équipression : l'enveloppe 3 possède également soit à ses extrémités soit en de multiples points répartis sur sa longueur des orifices mettant ledit fluide en contact avec l'extérieur soit directement soit indirectement par l'intermédiaire de membrane souple pour éviter le mélange entre l'eau de mer et ledit fluide quasi incompressible.

La figure 7 est une section transversale du dispositif d'isolation thermique du "bundle" selon l'invention dans lequel le périmètre 24 externe de la section transversale est de forme carrée et protège une isolation d'un revêtement isolant 2 composé de paraffine comme décrit à l'exemple 1, de préférence imprégnée dans une matrice absorbante.

La figure 8 est une section d'une variante du dispositif de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est octogonale.

La figure 9 est une section d'une variante du dispositif de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est rectangulaire et de forme aplatie. Sous l'effet des variations de température, l'expansion du revêtement isolant 2 est contenue dans la déformation de l'enveloppe 3 qui prend la forme du profil de la courbe 37.

La figure 10 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est de forme ovale dont le rapport de longueur du grand axe celle du sur petit axe est égal à 3/1.

La figure 11 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est un ovale dont le rapport du grand axe sur le petit axe est égal à 2/1.

La figure 12 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle l'enveloppe 3 est de forme rectangulaire aplatie dont les petits cotés 28 sont bombés ou arrondis.

La figure 14 est une section d'une variante de la figure 7 dans laquelle le périmètre 24 de la section transversale de l'enveloppe 3 comporte des points d'inflexion, donc des contre-courbures 5 concaves augmentant la capacité d'expansion.

5 La figure 14 est une section d'un dispositif d'isolation thermique selon l'invention dont l'enveloppe 3 contient deux conduites 1<sub>1</sub> de production d'effluents pétroliers, une conduite centrale d'injection d'eau 1<sub>2</sub> ainsi que deux conduites de réchauffage de l'ensemble, la conduite 1<sub>3</sub> servant par exemple à envoyer un fluide chaud depuis le support de surface,  
10 la conduite 1<sub>4</sub> servant au retour ; une liaison entre les conduites 1<sub>3</sub> et 1<sub>4</sub> existant à la seconde extrémité immergée du faisceau de conduites. Ces conduites 1 sont entourées d'un revêtement isolant rempli d'un fluide quasi-incompressible tel que de la paraffine comme décrit à l'exemple 1. Le faisceau de conduites ou "bundle" est équipé sur ses côtés de goulottes 29  
15 pouvant recevoir des ombilicaux 20, lesdites goulottes étant représentées simple sur la gauche et double sur la droite de la figure 14.

Le dispositif d'isolation thermique selon l'invention comporte à sa partie inférieure une semelle ou plaque d'usure 11 disposée sur une partie du périmètre 24 externe de la section transversal de l'enveloppe de  
20 protection 3, et de préférence au moins suivant un des grands cotés de ladite section transversale permettant alors d'éviter tout endommagement de l'enveloppe 3 de confinement lors de l'opération de remorquage et d'installation sur le site : l'ensemble reposant sur le fond de la mer 22, seule la plaque d'usure 21 frotte contre celui ci.

25 Ladite semelle ou plaque d'usure 21 peut être réalisée en matériau thermoplastique de densité 1 donc ne modifiant pas la flottabilité de l'ensemble lors du remorquage ni même durant la vie du faisceau de conduites sur le site.

La figure 15 est une section d'un "bundle" dont l'enveloppe 3 de  
30 protection comporte une partie inférieure 3<sub>1</sub> en forme de "U" ouvert vers le haut en position opérationnelle, dans lequel sont disposées lesdites conduites 1, le revêtement isolant 2 et le fluide incompressible 4, ladite partie inférieure 3<sub>1</sub> étant fermée par un couvercle 34 assemblé sur celle ci

pour constituer l'ensemble de l'enveloppe de protection 3 ; celle ci est représentée de forme sensiblement rectangulaire et réalisée par exemple à partir d'une tôle métallique formée et équipée d'un couvercle 34 assemblé par soudage en (25<sub>1</sub>, 25<sub>2</sub>) sur ladite enveloppe. Le "bundle" contient des conduites 1 et des lignes de réchauffage électriques 26, l'ensemble étant contenu dans un revêtement 2 supporté par des cales 27, disposées dans la partie inférieure de l'enveloppe 3 ; ledit revêtement 2 étant constitué, soit d'une matrice absorbante imprégnée de paraffine, soit de mousse syntactique ou de tout autre produit d'isolation résistant à la pression ; l'espace compris entre l'enveloppe 3 et le revêtement isolant 2 étant rempli de fluide quasiment incompressible 4, tel que de la paraffine, assurant le remplissage intégral du volume interne de l'enveloppe 3 laquelle dans ce mode de réalisation n'épouse donc pas la forme du revêtement isolant 2.

La figure 16 est une variante de la figure 15 dans laquelle l'enveloppe 3 et le couvercle 34 présentent un recouvrement en forme de lèvre 28 située à l'extérieur de la section principale du "bundle" ce qui permet d'effectuer un assemblage,

- soit, comme représenté sur la partie gauche de la figure, par boulonnage ou rivetage à travers des trous 29 régulièrement espacés, associé à la mise en place d'un joint élastomère 30<sub>1</sub> ou encore par simple collage entre les tôles,

- soit encore par soudage continu à la molette dans la zone 30<sub>2</sub> comme représenté sur la partie droite de la figure ; ledit soudage à la molette étant connu de l'homme de l'art dans le domaine de la chaudronnerie, ne sera pas décrit ici.

Ainsi, dans le cas d'assemblage mécanique, de collage ou de la combinaison des deux, l'enveloppe 3 peut être réalisée en tous matériaux tels que des métaux, des thermoplastiques, des thermodurcissables ou encore des matériaux composites.

La figure 17 est une variante de la figure 15 dans laquelle le couvercle est remplacé par une couche 31 de matériau souple tel que thermoplastique, thermodurcissable ou réticulable, par exemple en élastomère, lequel matériau ferme l'ouverture supérieure de la partie

inférieure 3<sub>1</sub> en forme de "U" de l'enveloppe 3 et est coulé en place après installation complète de tous les composants du "bundle", un revêtement isolant 2 comprenant un fluide quasiment incompressible 4, ledit revêtement isolant 2 étant entouré de fluide incompressible de remplissage 4 dont le niveau sera alors ajusté de manière à laisser suffisamment de place pour assurer à la couche 3<sub>1</sub> une épaisseur suffisante, par exemple 1 cm, permettant ainsi une adhérence suffisante à la paroi de l'enveloppe 3. La surface de contact est représentée sur la partie droite de la figure sous la forme d'un angle droit 32, sur la partie gauche un formage 33 en S de la tôle 3 augmente les surfaces de contact ainsi que les zones soumises à cisaillement, lequel cisaillement est en général préférable à l'arrachement dans les collages.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif d'isolation thermique d'au moins une conduite sous-marine (1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, comportant  
5 un revêtement isolant entourant celle-ci et une enveloppe de protection (3), caractérisé en ce que ledit revêtement isolant comprend un matériau quasi incompressible (4) à changement de phase liquide-solide à une température de fusion  $T_0$  supérieure à celle  $T_2$  du milieu environnant la conduite en opération et inférieure à celle  $T_1$  des effluents circulant  
10 dans ladite conduite, laquelle enveloppe de protection (3) est résistante et déformable et assure un confinement autour dudit revêtement isolant.
2. Dispositif d'isolation thermique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit revêtement isolant comprend une matrice (2) absorbante  
15 entourant ladite conduite (1), de préférence au plus près de sa surface extérieure, et imprégnée dudit matériau (4).
3. Dispositif d'isolation thermique suivant la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3), s'appuyant sur le matériau (4) solidifié et rigide au moins à sa périphérie, est apte à  
20 supporter le poids de la conduite (1) et les frottements lors de la pose de celle ci depuis la surface.
4. Dispositif d'isolation thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) est déformable pour suivre les variations de volume du revêtement  
25 isolant qu'elle confine sous l'effet de la pression hydrostatique et lors des variations de température.
5. Dispositif d'isolation selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte au moins un évent perméable au gaz pouvant diffuser à travers ladite conduite  
30 sous-marine (1) et généré par les effluents qui y circulent.
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5 caractérisé en ce que la matrice (2) est constituée d'un matériau léger cellulaire ou



fibreux et ledit matériau quasi-incompressible (4) qui l'imprègne a une température de fusion ( $T_0$ ) comprise entre 20 et 80°C.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que ledit matériau (4) a une conductivité thermique inférieure à 0,3 Watt/mètre/deg Celsius en phase solide et une enthalpie de fusion supérieure à 50 kilojoule/kilogramme.
8. Dispositif d'isolation selon l'une quelconque des revendications 2 à 7 caractérisé en ce que ladite matrice (2) n'occupe qu'une partie du volume de l'espace annulaire délimitée par ladite enveloppe de protection (3) et ladite conduite (1).
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 caractérisé en ce qu'il comporte des entretoises (9) régulièrement espacées le long de la conduite (1) sur laquelle elles s'appuient et supportant l'enveloppe de protection (3).
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) est en matériau thermoplastique.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 caractérisé en ce que ledit matériau (4) quasi-incompressible est constitué, à au moins 90 %, de composés chimiques de la famille des alcanes, de préférence une paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 10 atomes de carbone.
12. Dispositif selon la revendication 11 caractérisé en ce que ledit matériau quasi-incompressible (4) comprend une paraffine comprenant une chaîne hydrocarbonée d'au moins 14 atomes de carbone.
13. Dispositif d'isolation thermique selon l'une des revendication 1 à 12 caractérisé en ce que le périmètre (24) externe de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est une courbe fermée dont le rapport du carré de la longueur sur la surface qu'elle délimite est au moins égal à 13.
14. Dispositif selon la revendication 12 caractérisé en ce que la forme extérieure de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est un ovale.

- 15 Dispositif suivant la revendication 14 caractérisé en ce que le rapport de longueur du grand axe sur celle du petit axe de l'ovale est au moins de 2.
16. Dispositif selon la revendication 13 caractérisé en ce que la forme  
5 extérieure de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) est un rectangle.
17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 16 caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux conduites (1) disposées suivant un même plan et la section transversale de ladite enveloppe (3) est de  
10 forme allongée dans la même direction que ce plan.
18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 16 caractérisé en ce que le périmètre (24) de la section transversale de ladite enveloppe (3) comporte des contre courbures concaves (35).
19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 18 caractérisé  
15 en ce qu'il comporte une plaque d'usure (21) disposée sur une partie dudit périmètre (24) extérieur de l'enveloppe (3).
20. Dispositif suivant la revendication 19 et selon l'une quelconque des revendications 14 à 17 caractérisé en ce que ladite plaque d'usure (21) est disposée suivant l'un des grands cotés de la section transversale de  
20 ladite enveloppe (3).
21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 20 caractérisé en ce que le rapport du carré de la longueur du périmètre (24) extérieur de la section transversale de ladite enveloppe de protection (3) sur la surface que délimite ledit périmètre est au moins égale à 16.
- 25 22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 21 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte une partie inférieure (3<sub>1</sub>) en forme de "U" dans lequel sont disposées lesdites conduites (1) et un couvercle (34) assemblés sur cette enveloppe (3).
23. Dispositif suivant la revendication 22 caractérisé en ce que ledit  
30 couvercle (34) est soudé à la molette.
24. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 23 caractérisé en ce que l'enveloppe de protection (3) comporte une partie inférieure (3<sub>1</sub>) en forme de "U" dans laquelle sont disposées lesdites conduites (1)

et une ouverture supérieure fermée par une couche (31) de matériau souple coulé après installation de tous les composants internes.

25. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 13 à 24 caractérisé en ce que l'enveloppe (3) comporte des cales (27) supportant le revêtement isolant (2), l'espace compris entre l'enveloppe (3) et ledit revêtement (2) étant rempli d'un fluide quasiment incompressible (4).

26. Procédé d'isolation thermique d'au moins une conduite sous marine (1) destinée à être posée sur le fond à grande profondeur, utilisant un revêtement isolant entourant celle ci et une enveloppe de protection (3), caractérisé en ce que :

- on entoure ladite conduite (1), de préférence directement avec un revêtement isolant (2) comprenant un matériau quasi incompressible (4) et à changement de phase liquide-solide à une température de fusion ( $T_0$ ) donnée, ledit matériau quasi-incompressible étant de préférence imprégné dans une matrice absorbante, et on confine l'ensemble dans l'enveloppe de protection (3) qui doit être résistante et déformable,

- on fait circuler dans ladite conduite (1) des effluents chauds (6) à une température  $T_1$  supérieure à la température de fusion  $T_0$  dudit matériau (4) alors que la température  $T_2$  ambiante extérieure est inférieure à  $T_0$ , le matériau à changement de phase (4) étant alors liquide, de préférence dans une partie de la matrice d'imprégnation (21) depuis la conduite (1) jusqu'à une limite d'équilibre (19) d'échange thermique entre la conduite (1) et l'enveloppe (3), au-delà de cette limite (19) le matériau étant solide,

- quand on arrête la circulation des effluents (6) dans la conduite (1) on maintient la température de ces effluents (6) au-dessus d'une température  $T_3$  donnée pendant une durée prédéterminée grâce au transfert calorifique apporté par la chaleur latente dudit matériau (4) dont la partie liquide (41) se solidifie progressivement en se refroidissant.

27. Procédé d'isolation thermique suivant la revendication 26 caractérisé en ce que :

- on fixe un obturateur d'une manière continue et étanche un obturateur (7<sub>2</sub>) à l'extrémité de la paroi extérieure de conduite (1) à isoler;
  - on monte sur cette partie de conduite (1) des éléments de la matrice (2) absorbante qui entourent celle-ci complètement et uniformément,
  - 5 - on enfile autour de ces éléments de matrice (2) l'enveloppe extérieure de protection (3) que l'on solidarise à son extrémité à l'obturateur (7<sub>2</sub>)
  - on positionne à l'autre extrémité de l'enveloppe de protection (3) un deuxième obturateur (7<sub>1</sub>) que l'on fixe sur cette enveloppe et sur la conduite (1),
  - 10 - on remplit complètement, par une extrémité, l'espace annulaire compris entre la conduite (1) et l'enveloppe (3) avec ledit matériau (4) à changement de phase, liquéfié et surchauffé au-dessus de sa température de fusion T<sub>0</sub> et jusqu'à ce que les éléments de matrice (2) en soient complètement imprégnés,
  - 15 - on refroidit l'ensemble.
28. Procédé d'isolation thermique suivant la revendication 27 caractérisé en ce que :
- on intercale entre des éléments de matrice (2) absorbante des entretoises (9) régulièrement espacées le long de la conduite (1) sur laquelle elles s'appuient,
  - 20 - lorsque l'ensemble des éléments de l'enveloppe de protection (3) ont été mis en place et fixés pour constituer l'enveloppe de confinement, on met en place des sangles (17) de maintien à l'aplomb desdites entretoises (9),
  - 25 - on remplit alors l'espace annulaire avec ledit matériau liquéfié (4) sous pression pour déformer l'enveloppe extérieure (3) entre lesdites sangles (17), laquelle déformation correspondant à l'augmentation de volume engendrée par la dilatation thermique du matériau (4) liquide à la température de remplissage.

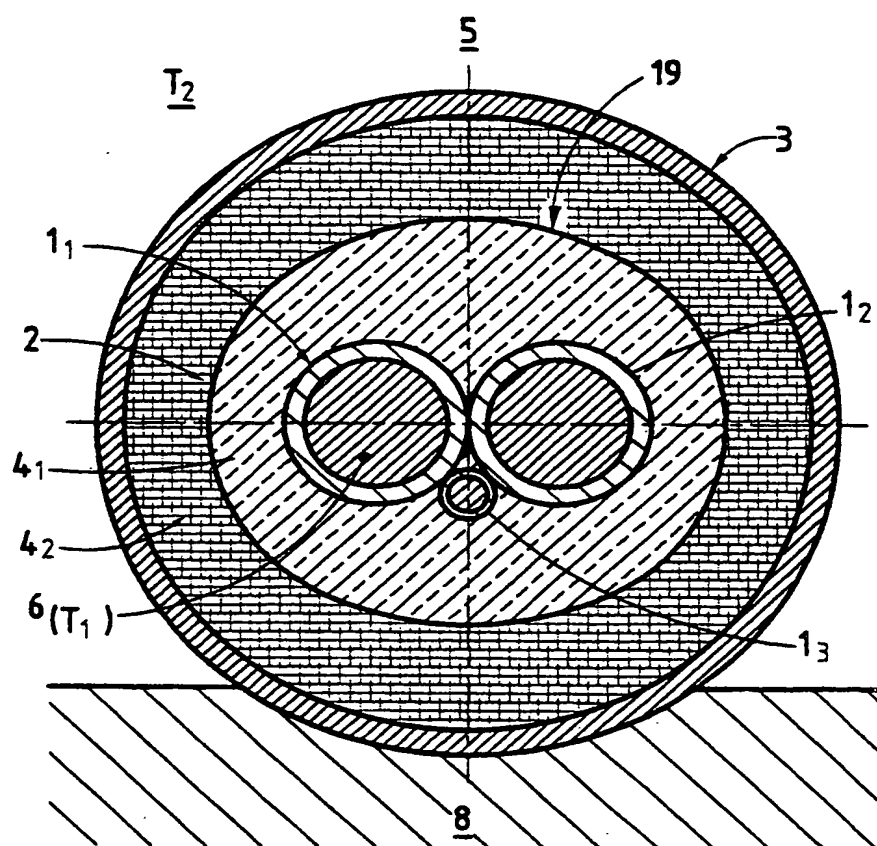


FIG.1

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

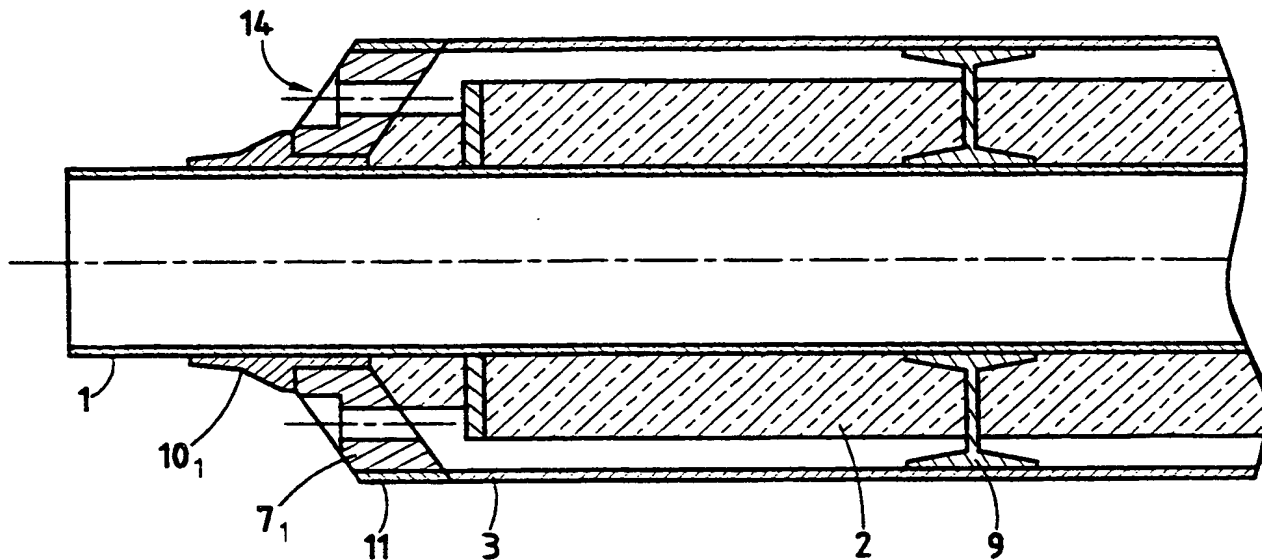


FIG. 2A

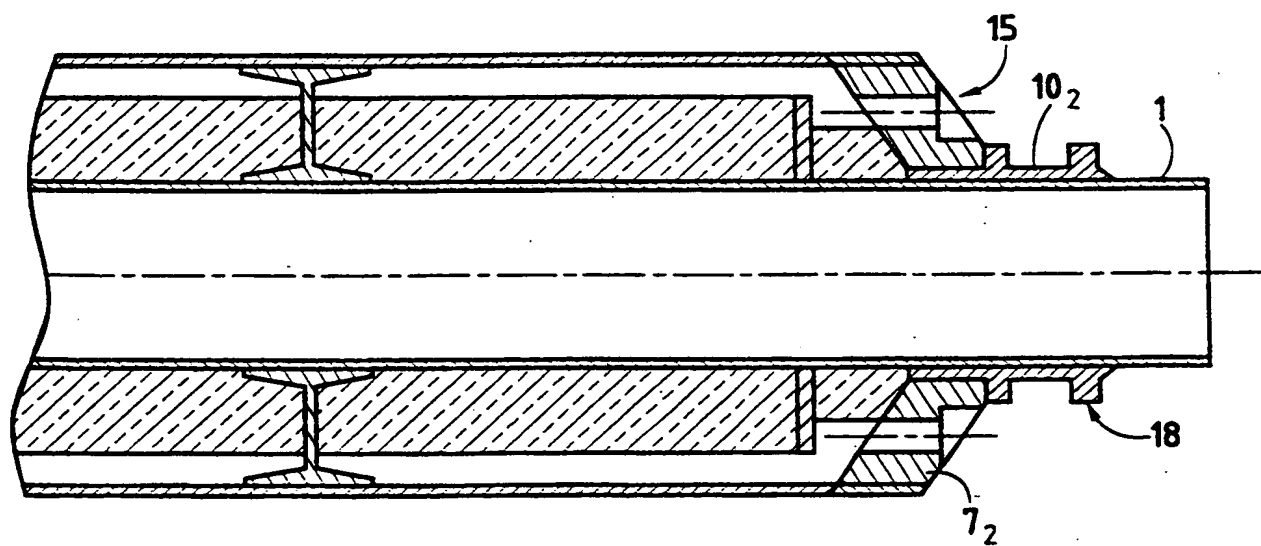


FIG. 2B

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



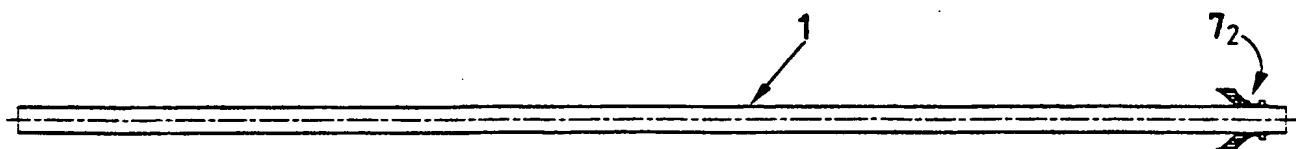


FIG. 3A

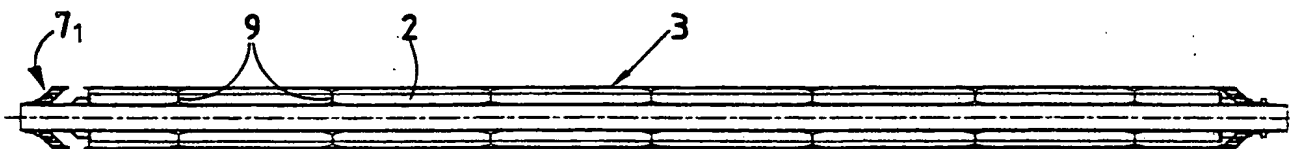


FIG. 3B

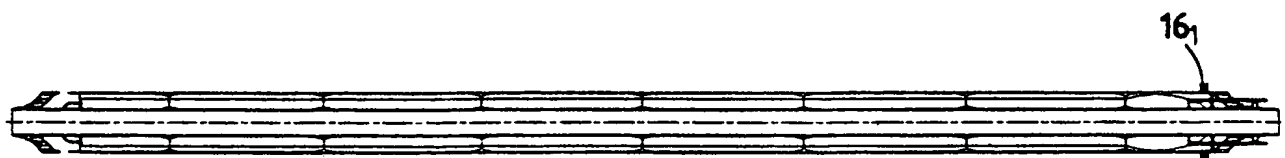


FIG. 3C

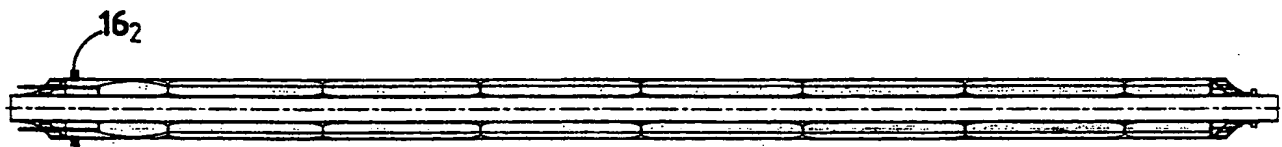


FIG. 3D

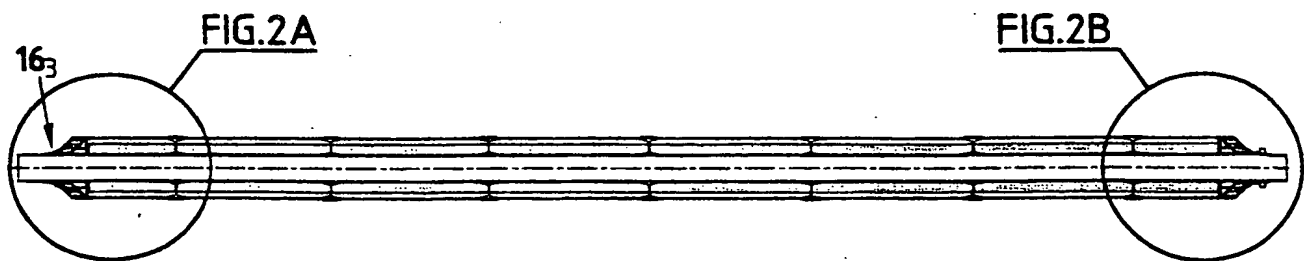


FIG. 3E

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

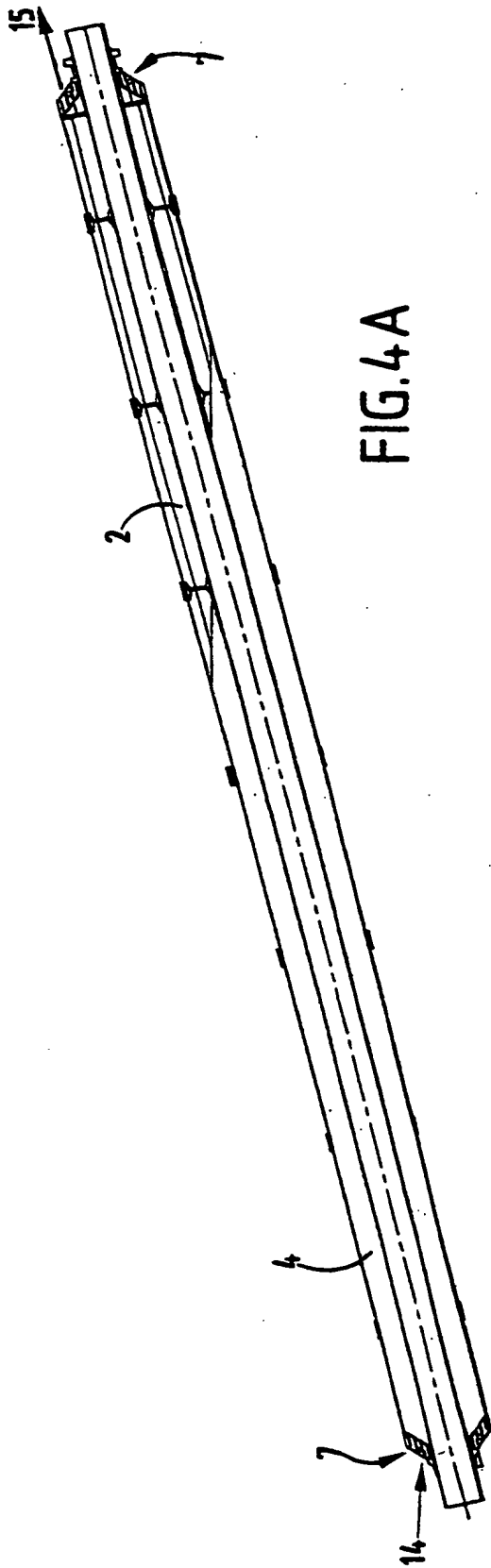


FIG. 4A

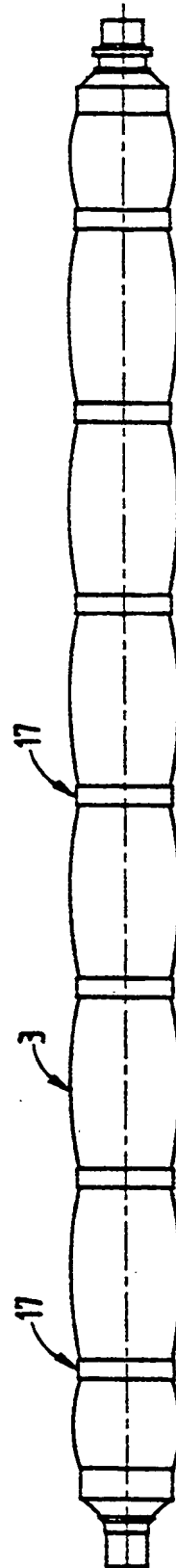


FIG. 4B

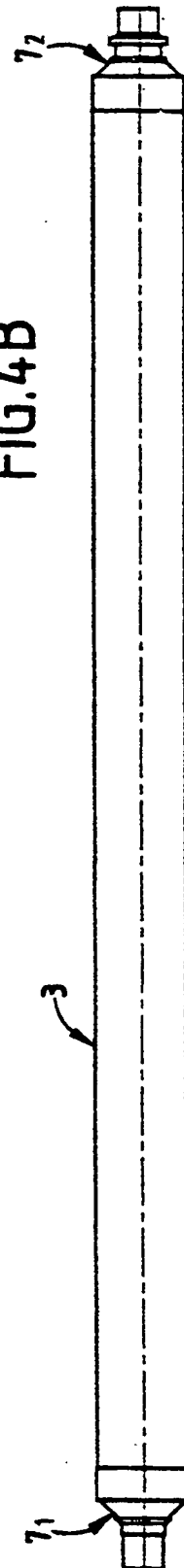
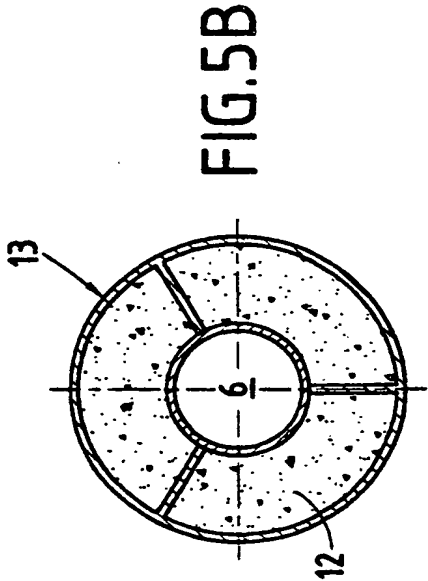
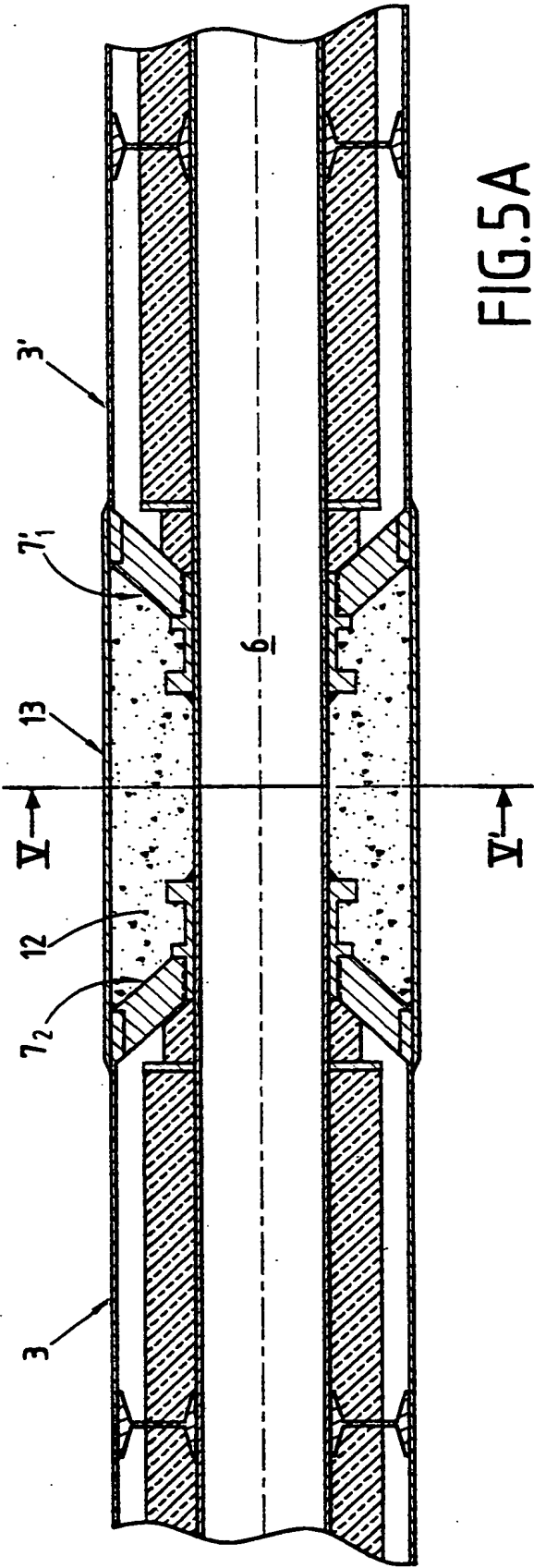


FIG. 4C

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

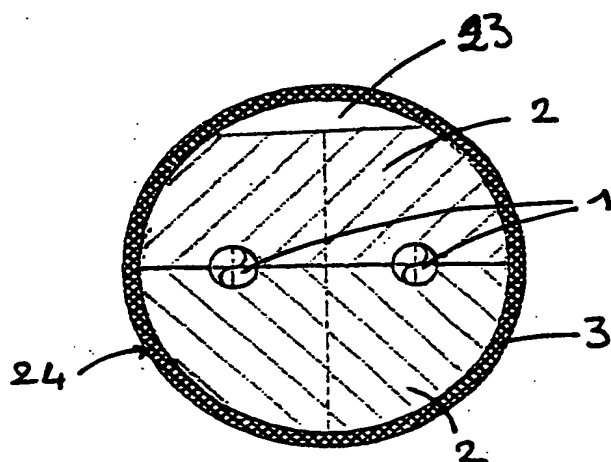


FIG. 6

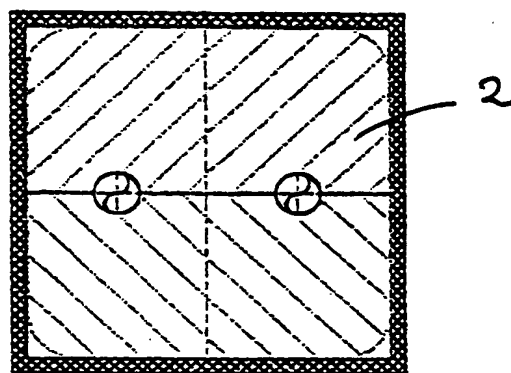


FIG. 7

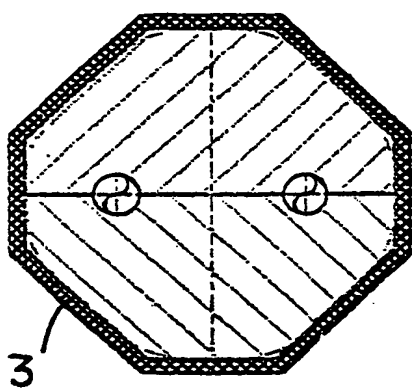


FIG. 8

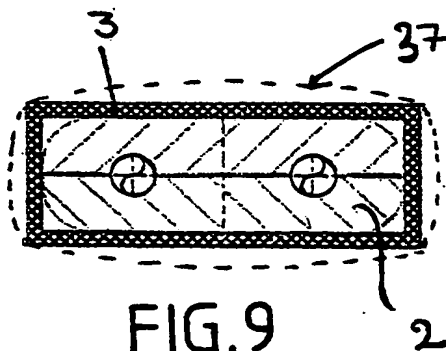


FIG. 9

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



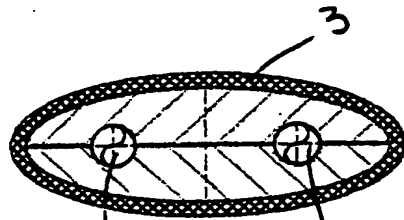


FIG. 10

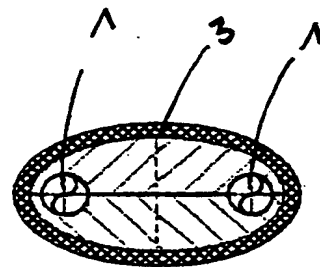


FIG. 11

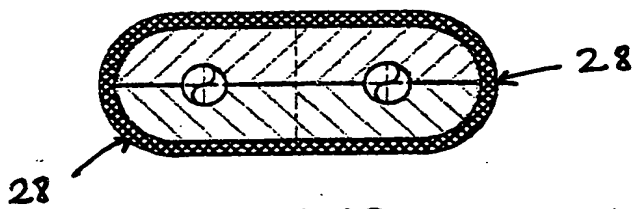


FIG. 12

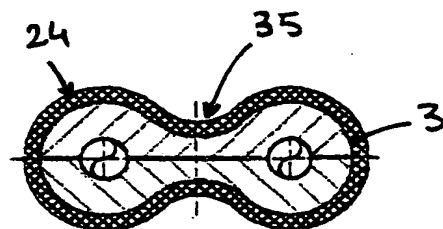


FIG. 13

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

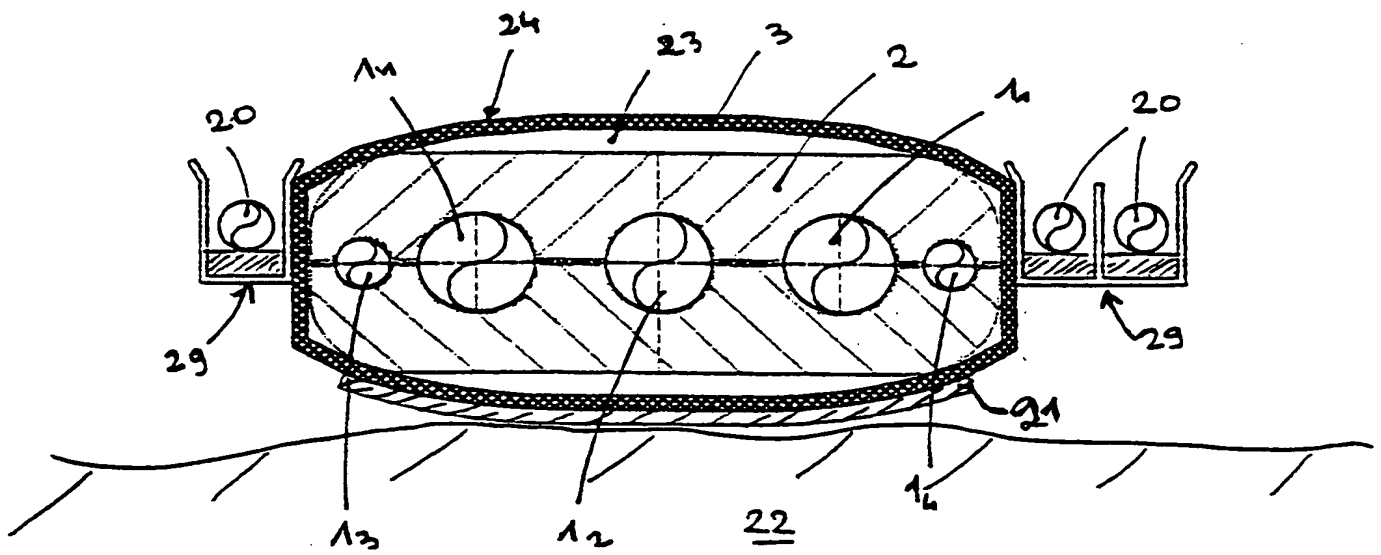
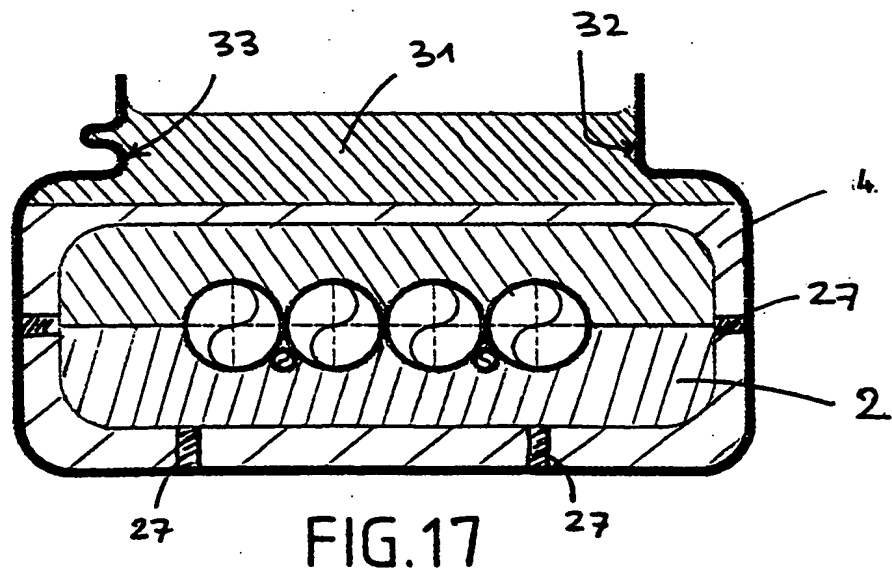
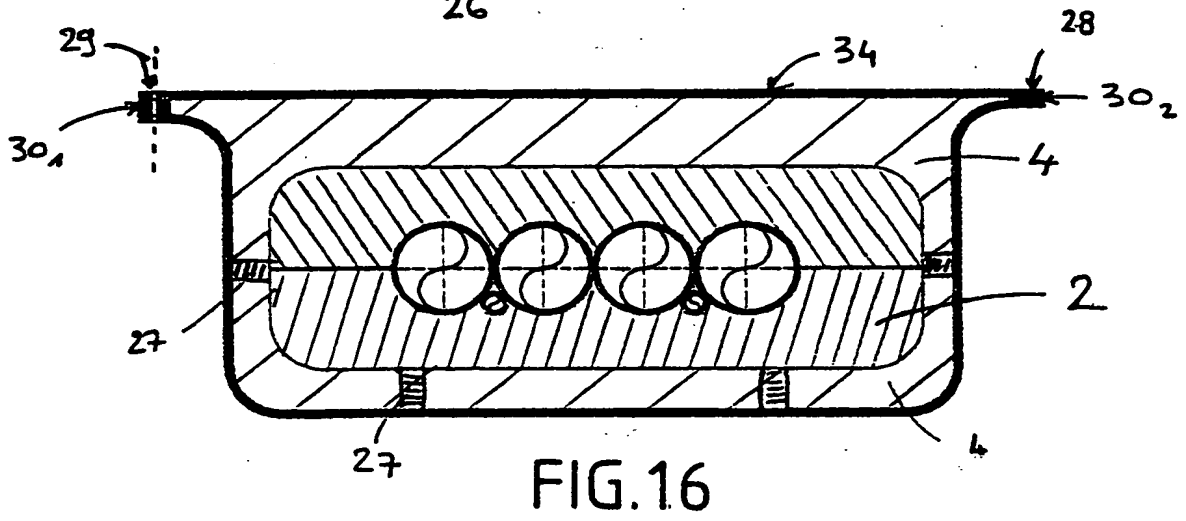
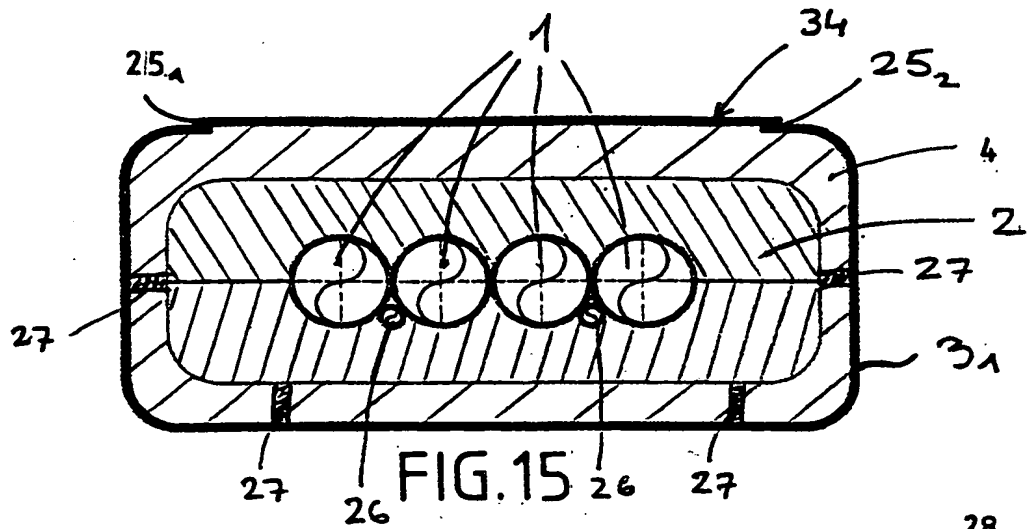


FIG.14

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Patent Application No

PCT/FR 99/03322

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F16L53/00 F16L59/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F16L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 281 373 A (T & N TECHNOLOGY LTD) 1 March 1995 (1995-03-01) the whole document	1-4, 6-8, 10, 26
A	US 3 768 547 A (BEST J) 30 October 1973 (1973-10-30) column 1, line 14 - line 16 column 3, line 36 - line 38 column 3, line 57 - line 66 column 4, line 27 - line 30 column 4, line 43 - line 55 column 5, line 4 - line 7 figure 3	1, 2, 8, 26
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 April 2000

Date of mailing of the international search report

12/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Brosio, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/03322

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 400 088 A (CENTRE SCIENT TECH BATIMENT) 9 March 1979 (1979-03-09) page 3, line 31 - line 32 page 3, line 12 - line 16 claim 4; figures 2,4	1,2,11, 12



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. Application No

PCT/FR 99/03322

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB 2281373	A	01-03-1995	NONE	
US 3768547	A	30-10-1973	CA 1011566 A	07-06-1977
			CA 1025782 A	07-02-1978
			NO 136214 B	25-04-1977
			US 3948313 A	06-04-1976
			US 3990502 A	09-11-1976
FR 2400088	A	09-03-1979	NONE	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De internationale No

PCT/FR 99/03322

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 F16L53/00 F16L59/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 F16L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	GB 2 281 373 A (T & N TECHNOLOGY LTD) 1 mars 1995 (1995-03-01) le document en entier	1-4, 6-8, 10, 26
A	US 3 768 547 A (BEST J) 30 octobre 1973 (1973-10-30) colonne 1, ligne 14 - ligne 16 colonne 3, ligne 36 - ligne 38 colonne 3, ligne 57 - ligne 66 colonne 4, ligne 27 - ligne 30 colonne 4, ligne 43 - ligne 55 colonne 5, ligne 4 - ligne 7 figure 3	1, 2, 8, 26

-/-

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 avril 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/04/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Brosio, A

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 400 088 A (CENTRE SCIENT TECH BATIMENT) 9 mars 1979 (1979-03-09) page 3, ligne 31 - ligne 32 page 3, ligne 12 - ligne 16 revendication 4; figures 2,4	1,2,11, 12

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Descriptive internationale No

PCT/FR 99/03322

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2281373 A	01-03-1995	AUCUN	
US 3768547 A	30-10-1973	CA 1011566 A	07-06-1977
		CA 1025782 A	07-02-1978
		NO 136214 B	25-04-1977
		US 3948313 A	06-04-1976
		US 3990502 A	09-11-1976
FR 2400088 A	09-03-1979	AUCUN	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**